

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

MINI- JA MIKROLUOKAN TIEDUSTELULENNOKIT 2020-LUVULLA

Sotatieteiden kandidaatintutkielma

Kadetti
Ari-Pekka Koskimies

99. kadettikurssi
Maasotalinja

Maaliskuu 2015

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

| | |
|---|--|
| Kurssi 99. kadettikurssi | Linja Maasotalinja |
| Tekijä Kadetti Ari-Pekka Koskimies | |
| Tutkielman nimi MINI- JA MIKROLUOKAN TIEDUSTELULENNOKIT 2020-LUVULLA | |
| Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka | Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto) |
| Aika Maaliskuu 2015 | Tekstisivuja 21 |
| TIIVISTELMÄ <p>Lennokkien määrä on ollut jatkuvassa kasvussa sekä taistelukentällä että siviilikäytössä. Lennokkien yleistymisen myötä myös niiden kehittyminen on jatkuvaa. Tutkimuksessa selvitetään "Miten mini- ja mikroluokan tiedustelulennokit kehittyvät 2020-luvulla?".</p> <p>Tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena, jossa analysoidaan ja käytetään aiemmin kirjoitettua aiheeseen liittyvää aineistoa oman tutkimuksen pohjana. Tutkimukseen käytetään mahdollisimman tuoreita ja ajankohtaisia lähdemateriaaleja. Tutkimus on rajattu vain miniluokkaa pienempiin kiinteä- tai pyöriväsiipisiin lennokkeihin. Miniluokkaan lasketaan lennokit, jotka kyetään lähettämään lentoon kädestä tai mukana kannettavalla apuvälineellä.</p> <p>Lennokeista yleistyvät suoraan pystysuoraan nousevat ja helpommin mukana kannettavat mallit. Lennokkien käyttöä pyritään helpottamaan myös tekemällä niiden ohjaamisesta helpompaa. Tähän mallia saatetaan ottaa myös siviililennokeista. Siviililennokeja saatetaan myös käyttää tulevaisuudessa sellaisenaan taistelukentällä. Sensoreiden kehittyminen yhdessä prosessointikyvyn kanssa mahdollistavat lennokeissa konenäön parantumisen, ja sitä kautta autonomian lentoreitin etsinnässä. Kehittyvä autonomia mahdollistaa myös nanolennokeilla parvilennon kehittymisen, sillä se estää lennokkien törmäämisen toisiinsa ilmassa sekä mahdollistaa lennokkien omatoimisen parhaan paikan valinnan tiedustelutehtävää varten.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että 2020-luvulla suurin osa käytetyistä lennokkimalleista on vielä nykyisinkin käytössä olevia malleja tai ainakin toiminnallisuuksiltaan samankaltaisia.. Kuitenkin jo nyt on havaittu mitä tehtäviä lennokeilla halutaan toteuttaa, ja miniluokan lennokit ovat jo nyt varsin tehokkaita tehtävässään. Erilaiset taisteluympäristöt tuovat kuitenkin tarpeen myös pienemmille ja erityistehtäviin sopivimmille lennokeille.</p> | |
| AVAINSANAT <p>Miehittämättömän ilma-alus, minilennokki, mikrolennokki, nanolennokki, sensori</p> | |

MINI- JA MIKROLUOKAN TIEDUSTELULENNOKIT 2020-LUVULLA

Sisältö

| | |
|---|----|
| 1 JOHDANTO: | 1 |
| 1.1 Yleistä: | 1 |
| 1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen tavoitteet..... | 2 |
| 1.3 Tutkimusmenetelmä..... | 2 |
| 1.4 Rajaus..... | 3 |
| 2 LENNOKIT..... | 4 |
| 2.1 Nykyiset lennokit | 4 |
| 2.1.1 RQ-11 Raven..... | 5 |
| 2.1.2 Maveric | 6 |
| 2.1.3 T-Hawk | 7 |
| 2.2. Tulevaisuuden lennokit | 8 |
| 2.3. Johtopäätökset | 12 |
| 3. LENNOKKIEN SENSORIJÄRJESTELMÄT..... | 14 |
| 3.1. Nykyiset lennokkien sensorit | 14 |
| 3.1.1. Mantis i23 AE | 15 |
| 3.1.2 MicroPOP..... | 16 |
| 3.2. Lennokkien sensoreiden kehitysnäkymät | 16 |
| 3.3. Johtopäätökset | 18 |
| 4. JOHTOPÄÄTÖKSET | 19 |
| 4.1. 2020-luvun lennokit | 19 |
| 4.2. Tarpeet jatkotutkimukselle..... | 21 |
| LÄHTEET..... | 22 |

MINI- JA MIKROLUOKAN TIEDUSTELULENNOKIT 2020-LUVULLA

1 JOHDANTO:

1.1 Yleistä:

Lennoikkien määrä on ollut jatkuvassa kasvussa taistelukentällä teknologian hinnan putoamisen myötä. Lennokkitiedustelulla pyritään korvaamaan miehitettyjen tiedustelukoneiden tarve. Lennokeilla kyetään tuottamaan tilannekuvaa taistelukentälle alueilla, joihin miehitetyillä koneilla ei pääse. [1, s. 1-5] Lennoikkien hintaa pudottaa sekä teknologian kehitys, että kysynnän kasvu lennokkimarkkinoilla. Lennokkeja kehitetään sotilaskäyttöön yli 40 maassa, mutta kärkipäässä ovat tällä hetkellä Yhdysvaltojen sekä Israelin lennokkikehitys. Lennoikkien pieni koko ja sitä kautta pieni oman tilan tarve on mahdollistanut myös lennokkiparvien käytön tiedustelutiedon saamiseen samalla alueella. Pienikokoiset koneet kykenevät kattamaan laajan alueen nopeammin lentämällä parvissa ja jakamalla havaintoja toistensa kanssa. [2, s. 1-2, 18] Lennoikkien kehittämistä tapahtuu nykyään myös enemmän julkisille sektoreille ja muille valtiollisille toimijoille. Kehittyneemmät sensorit, parantuneet lento-ominaisuudet ja halvemmat hinnat valmiilla tuotteella ovat mahdollistaneet lennoikkien leviämisen myös muille organisaatioille, ja samalla kasvattaneet kehityksintressiä. Erilaisista miehittämättömistä lennokeista vain 57% on puhtaasti asevoimien tarkoitukseen kehitettyjä. [3]

Tiedustelulennokeista on aiemmin tehty opinnäytteitä, mutta niissä on pääasiassa keskitytty aiemmin lähinnä suurempiin tiedustelulennokkeihin. Pro gradu -töitä miehittämättömistä ilma-aluksista ovat esimerkiksi Teemu Lindqvistin ”Nykypäivän miehittämättömien ilma-alusten suorituskyky” vuodelta 2012 sekä Jari Kanasen ”Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaisissa sodissa” vuodelta 2007. Aiempia kandidaatintutkielmia lennokeista ovat esimerkiksi Elisa Vilhusen ”Miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys 1990-luvulta nykypäivään” sekä Raine Hirvisaaren ”Taktisen tason lennokkitiedustelun kyky 2010-luvulla” vuodelta 2013. Pienempiin lennokkeihin keskittyy

Jalmari Paakalan kandidaatintutkielma ”Kaupallisten komponenttien käyttö taktisen tiedustelulennokin rakentamisessa” vuodelta 2013, jossa Paakala tutki mahdollisia kaupallisesti saatavilla olevia komponentteja miehittämättömän lennokin rakentamiseen.

1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen pääkysymys on: ”Miten mini- ja mikroluokan tiedustelulennokit kehittyvät 2020-luvulla”. Tähän kysymykseen haetaan vastaus alakysymysten kautta. Näiden alakysymysten avulla kartoitetaan tulevaisuuden tiedustelulennokkien suorituskykytrendejä 2020-luvulla.

Alakysymykset

Miten niiden lento-ominaisuuksia voidaan kehittää sopiviksi taistelukentällä?

Miten lennokkien käyttö helpottuu operoivilla joukoilla?

Mitä sensoreita pienissä lennokeissa tullaan käyttämään?

Miten sensoreiden tarkkuus kehittyy?

Tutkimuksen tavoitteena on muodostaa kuva siitä, minkälaisia tiedustelulennokkeja on käytössä 2020-luvulla, ja mihin suuntaan ne ovat kehittymässä tästä eteenpäin. Tavoitteena on tuoda esiin malliesimerkki 2020-luvun mini- ja mikroluokan lennokeista, ja löytää niiden kehityssuunta peilaamalla niitä taistelukentillä havaittuihin tarpeisiin.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena. Kirjallisuustutkimuksessa etsitään aiemmin aiheeseen liittyvää tekstiä, jota sitten analysoidaan ja käytetään oman tutkimuksen pohjana [4, s.42]. Tutkijan johtopäätöksiä varten tutkitaan aiempaa aineistoa lennokeista nykypäivänä, niiden käytöstä operaatioissa ja niiden kehityssuunnasta tulevaisuuden tarpeisiin. Sensoriteknikasta tutkitaan kirjoitettua materiaalia nykyisistä lennokeista käytettävistä sensoreista, niiden toiminnasta ja kehityksestä. Lähdeaineiston avulla selvitetään nykyisen lennokokikaluston toimintaa operaatioissa, kehitystarpeita tulevaisuuden varalle ja teknistä

kehittymistä vastaamaan näihin tarpeisiin. Lähdeaineistona käytetään myös siviilipuolen tutkimuksia lennokkien käytöstä siviilisovelluksissa ja kehittämisessä näihin tehtäviin.

Lähdemateriaalina käytetään alan kirjallisuutta, aiempia tutkimuksia lennokeista ja sensoreista sekä erilaisia internetjulkaisuja. Aiheen ollessa jatkuvasti kehittyvä ja tekniikan mahdollistaessa nopean kehityksen pyritään tutkimukseen valitsemaan mahdollisimman tuoreita ja ajankohtaisia lähteitä. Lennokkitekniikka kehittyy tällä hetkellä nopeasti, ja lähteiden ajankohtaisuus on merkittävää, kun tutkitaan tulevaisuuden tekniikkaa. Lisäksi lähteiden tarkoitus tulee aina arvioida pohdittaessa sen yleistä luotettavuutta.

1.4 Rajaus

Tutkimus koskee vain mini- ja sitä pienempiluokkaisia lennokkeja. Miniluokka määritellään Fahlströmin määritelmällä mini-kokoisille lennokeille. Tutkimuksessa käsitellään lennokkeja, joita kyetään lähettämään suoraan kädestä tai jollakin joukon mukana kannettavalla apuvälineellä lentoon. [5, s. 27] Lennokeista tutkitaan vain aseettomia kiinteä- tai pyöriväsiipisiä miehittämättömiä ilma-aluksia. Tutkimuksessa esitellään kolme nykyisin käytössä olevaa lennokkia, yksi mikro- ja yksi miniluokan kiinteäsiipinen lennokki, sekä yksi pyöriväsiipinen lennokki.

Lento-ominaisuuksilla, joita tutkitaan tässä työssä, tarkoitetaan lennokkien käytettävyyttä niiden tarkoitetussa toimintaympäristössä. Mini- ja mikroluokan lennokkien haasteena on niiden keveys ja siitä johtuvat vaikutusalttiudet sääolosuhteisiin.

2 LENNOKIT

Tässä kappaleessa esitellään lennokkien yleistymistä ja kehittymistä. Lennokkien kehittymistä esitellään lyhyessä tiedustelulennokkien historiaa käsittelevässä kappaleessa, jonka jälkeen esitellään kolme nykyisin käytössä olevaa mini- tai mikroluokan lennokkia. Nykyisten lennokkien jälkeen tutkitaan tulevaisuudessa taistelukentällä käyttöön tulevia erilaisia lennokkimahdollisuuksia. 2020-luvun lennokkeja tutkiessa otetaan huomioon myös jo nykyisin käytössä olevia sovelluksia, ja tutkitaan niiden käytettävyyttä taistelukentällä. Toisessa luvussa vastataan lennokkien lento-ominaisuuksien kehittymiseen sekä käytettävyyden helpottumiseen tutkimuskysymyksistä.

Tiedustelulennokkien kehityksen merkittävä käännekohta tapahtui 1950-luvun loppupuolella Yhdysvaltojen ottaessa käyttöön kameroilla varustetut maalilennokit. Myöhemmin näiden lennokkien kamerat korvattiin videokameroilla. [6] Vietnamin sodan aikaan käytettiin Ryan Firebee -maalilennokeista muokattuja Ryan Firefly -lennokkeja tiedustelutiedon saamiseen jopa 90% onnistumisprosentilla. Vietnamin sodan jälkeen lennokkien kehitys Yhdysvalloissa hiljentyi, mutta Irakin ja Afganistanin sotien aikana lennokkien merkitys taas kasvoi yhdeksi tärkeimmistä elementeistä taisteluissa. Sotien alussa lennokkeja karsastettiin, mutta onnistuneet havainnot ja lennokkien kehittyminen ja yleistyminen osoittivat niiden hyödyn vihollishavaintojen saamisessa sekä alueen tiedustelussa. [5, s. 5-7]

Minilennokit ilmestyivät taistelukuvaan Irakin sodan aikaan. Niitä oli kokeiltu ja käytetty jo operaatio Desert Stormissa 1990-luvun alussa, mutta ne yleistyivät Iraqi Freedom (2003-2010) –operaation alussa. Tuolloin käytössä jalkaväellä olivat Dragon Eye sekä Raven mini-luokan lennokit. [7, s. 54-56]

2.1 Nykyiset lennokit

Lennokkien kehitys on siirtynyt enemmän pieniin lennokkeihin. Vuonna 2014 yli puolet tuotetuista ja kehiteltävistä lennokeista olivat mini-luokan tai sitä pienempiä lennokkeja. [8, s. 151] Pienillä lennokeilla pyritään taistelukentällä tuomaan lennokkien käyttö ja siitä saatava tiedustelutieto lähemmäs operoivia joukkoja. Mahdollistamalla omien lennokkien käyttö taistelukentällä toimiville joukoille ja vähentämällä tarvetta hyödyntää pelkästään ylemmän johtoportaan tuottamaa tiedustelutietoa saadaan tarkempaa tietoa omalle toiminnalle tärkeistä

alueista. Tämä helpottaa johtajien toimintaa taistelukentällä ja parantaa joukon suorituskykyä sekä mahdollisuuksia ennakoida mahdollisia uhkia. [1, s.12]

2.1.1 RQ-11 Raven

RQ-11 Raven on Yhdysvaltalaisen AeroVironment –yhtiön Yhdysvaltojen armeijalle suunnittelema ja valmistama miniluokan kiinteäsiipinen lennokki, joka on nykyisin käytössä usean eri maan asevoimilla. Esimerkiksi Yhdysvaltojen merijalkaväki otti Raven lennokit käyttöönsä vuonna 2008 Red Dragon lennokkien seuraajaksi [9, s. 25]. Ravenien toimitus aloitettiin vuonna 2004, jonka jälkeen ne ovat yleistyneet Yhdysvalloissa kaikkien aselajien käyttöön. Raven lähetetään lentoon heittämällä ilman apuvälineitä, ja se kykenee lentämään joko ohjatusti tai aiemmin määriteltä reittiä pitkin omatoimisesti. Lennokki laskeutuu automaattisesti määriteltyn pisteeseen ilman tarvetta erilliselle laskeutumisalustalle. [10]



Kuva 1. Kuvassa Raven –lennokki lähetetään ilmaan kädestä. Kuvassa näkyy myös lennonohjaamiseen ja kuvan vastaanottamiseen käytettävä maa-asema [9, s. 32]

Ravenin pääasiallisena tehtävänä on tuottaa tiedustelukuvaa lähialueelta ja matalalta lentoradalta. Lennokissa käytetään yleensä värikameraa valoisalla ja infrapunakameraa hämärässä. [9, s. 31-34]

Raven kehitettiin alimmalle tasolle toimiville joukoille oman tiedustelutiedon saamiseksi. Sen käyttöön riittää yksi koulutettu lennokin käyttäjä ja lennokkioperaattorin päätehtävä ei tarvitse organisaatiossa olla pelkkä lennokin käyttö. Merijalkaväessä lennokkioperaattoreiksi koulutetaan ryhmän tavallisia jäseniä, jolloin niiden ryhmärakenteet eivät muutu. Lennokkioperaattoreiksi koulutettavien taistelijoiden määrää rajoittaa kuitenkin lennokin käyttöön tarvittavan koulutuksen hinta ja kesto. Koulutus kestää 10 kahdeksantuntista työpäivää, ja maksaa noin \$50 000 osallistujalta, eli noin 42 000€. Lennokkioperaattorien määrän ollessa rajallinen, joudutaan harvoja Ravenin käyttöön koulutettuja sotilaita siirtämään ryhmistä toiseen jopa lyhyellä varoitusaajalla yksittäisiin tehtäviin. Pääasiassa lennokkien käyttö ja operaatiot alistetaan komppaniatason kokoluokan yksiköille päällikön hallinnoimaksi voimavaraksi. Komppanian päällikkö vastaa lennokkioperaattorien sijoituksista ja täten lennokkien käytöstä komppanian sisällä. [9, s. 46-56]

2.1.2 Maveric

Maveric on Prioria Robotics Inc:n valmistama mikroluokan UAV. Yhdysvaltojen armeija tilasi Maveric -lennokkeja vuonna 2013 operaatioissa taistelleiden sotilaiden pyynnöistä ja havaituista tarpeista johtuen 36 kappaletta joukkueen lennokeiksi REF:n (Rapid Equipping Forces) käyttöön. [11] Maveric on kiinteäsiipinen lennokki, jota yksittäinen taistelija kykenee käyttämään yksin joukkueen tarvitseman tiedustelutiedon saamiseen. Maveric kykenee lentämään joko ohjattuna tai automaattisesti etukäteen määriteltä reittiä pitkin, tai lentämään ympyrää halutun kohteen alueella.[12]

Mavericin tärkeimmät ominaisuudet lennokin käytön kannalta ovat sen pieni koko ja helppokäyttöisyys, jolloin lennokkia kykenee kantamaan ja operoimaan yksittäinen taistelija. Lennokin siivet ovat elastista materiaalia, ja kuljetuksen aikana ne ovat rullattuna lennokin rungon ympärille. Lentoon noustessaan, joko kädestä heittämällä tai lennokin omaa laukaisuputkea käyttämällä, siivet levittyvät auki. Lennokki ei tarvitse näin ylimääräistä valmistelua siipien osalta ennen lentoon lähettämistä. Lentokoneen pieni koko ja hiljainen moottori tekevät siitä hyvän lennokin tarkkailuun myös vihollisen miehittämällä alueella. Lennokin moottorin äänet eivät kuulu sadan metrin korkeudella lentäessä ja lennokin lintumainen muotoilu tekee siitä hankalammin tunnistettavan kohteen havaitisijalle. [12]



Kuva 2. Maveric lennokka kantoputkessaan. Kantoputkessaan koneen siivet rullataan rungon ympärille, jolloin säästetään tilaa kantoa varten sekä kone saadaan pidettyä lentovalmiina ja nopeasti tehtävään lähetettävänä [12]

2.1.3 T-Hawk

T-Hawk on Yhdysvalloissa suunniteltu mikroluokan pyöriväsiipinen lennokka, jolla on kyky asettua paikalleen leijumaan ja välittää jatkuvaa videokuvaa halutusta paikasta. Sen kehitys aloitettiin vuonna 2003, ja vuonna 2007 se otettiin käyttöön Irakin sodassa. T-Hawk kehitettiin jalkautuneiden joukkojen suojaksi. [13] Sen tärkeimpinä tehtävinä ovat jatkuva tarkkailu halutulla toimipaikalla, sekä tienvarsien ja operoitavien alueiden tarkastaminen erilaisten räjähteiden varalta [3]. T-Hawk on yhden miehen käytettävissä oleva lennokka, joka kulkee joukon mukana taistelijan selässä. Kantorepusta lennokka on valmisteltavissa lentokuntoon kymmenessä minuutissa. T-Hawk paketti sisältää erilliset vaihdettavat kamerat sekä valoisalla että pimeällä tapahtuvaan kuvaukseen. [13]

T-Hawk on esitellyistä lennokeista ainoa polttomoottorilla toimiva järjestelmä. Täydellä tankilla sen maksimilentoaika on noin 46 minuuttia, ja se kykenee lentämään yli 55km/h nopeudella 7.6 m/s tuulella. [13]

T-Hawkin heikkouksia on sen voimakas ääni, kallis hinta ja herkkyys tuulelle. Lisäksi sen automaattinen ohjausjärjestelmä kykenee määrittämään oman sijaintinsa vain 10m tarkkuudella horisontaalisella tasolla ja 6m tarkkuudella vertikaalisella tasolla, mikä estää lennokin käytön kapeilla kujilla ja rakennusten sisällä. [3]



Kuva 3. T-Hawk lennokka ja ohjaaja. T-Hawk toimii yhdellä roottorilla, joka sijaitsee laitteen sisällä putkessa. Roottori kerää lennokin päältä ilmaa ja painaa sen alas kehittäen näin tarpeeksi työntöä nousuun ja paikallaan leijumiseen [13]

2.2. Tulevaisuuden lennokit

Tulevaisuuden lennokkeja suunnitellessa tulee ottaa huomioon niiden käyttötarve ja toimintaympäristö, jossa niitä tullaan käyttämään. Taistelut ovat muuttuneet täsmävaikutteisemmiksi aiempien laajojen rintamataistelujen sijaan. Vaikka vieläkin laaja koko valtion kattava hyökkäys on mahdollinen, tuettaisiin sitäkin erikoisaseistuksilla ja erikoisjoukoilla valtion infrastruktuurin kannalta tärkeissä paikoissa ja urbaaneissa toimintaympäristöissä. Näissä tilanteissa aktiivinen tilannekuva ja johtaminen korostavat merkitystään. [14, s. 7-12]

Kiinteäsiipisten koneiden rinnalle ovat nousseet myös pyöriväsiipiset lennokit. Erityisesti urbaaneissa olosuhteissa pyöriväsiipisten lennokkien etuina ovat niiden käytettävyys ja mahdollisuus laittaa lentoon ahtaissakin tiloissa, kyky leijua paikallaan pitkiäkin aikoja sekä

mahdollisuus tiukkoihinkin käännöksiin kaikissa paikoissa. Kuitenkin vuonna 2010 kiinteäsiipisiä koneita oli vielä 72% kaikista lennokeista, pyöriväsiipisten osuuden ollessa vain 17%. [3] Pyöriväsiipisten lennokkien etuna on myös niiden käytettävyys ja lentoon lähetettävyys huomaamattomasti ja vaikeista paikoista. Kiinteäsiipiset lennokit vaativat usein suoran vapaan linjan, jossa lennokka kiihdyttää tarvittavaan lentonopeuteensa. Pyöriväsiipiset lennokit kyetään lähettämään lentoon suoraan ylöspäin, mikä mahdollistaa taistelijalle lennokin käytön myös makuuasennosta. [15]

Yksi tulevaisuuden suurista lennokinkehityssintresseistä on mikroluokkaa pienempien nanolennokkien yleistyminen. Nanoluokan lennokit tulevat toimimaan parvissa, jolloin ne voivat jakaa sensoreidensa tietoa toistensa kanssa ja lopulta antaa kattavaa tilannekuvaa käyttäjälle. Parvien etuna on nopea koko toiminta-alueen tarkastaminen ja jatkuva tilannekuva koko alueelta. Parvissa lennokit kykenevät samanaikaisesti tukemaan toisiaan sekä toimimaan itsenäisesti hiukan erillään muusta parvesta tarpeen mukaan. Tämä kuitenkin vaatii vielä paljon suunnittelua, ennen parvissa toimivien nanolennokkien yleistymistä taistelukentillä. Lennokkien lentoradat tulee saada optimoitua siten, että yhteentörmäyksiä ilmassa ei tapahdu, ja että lennokit kykenevät tuottamaan kattavan ja yhtenäisen tiedustelutiedon käyttäjälle. Tämä vaatii paitsi lentoratojen ja –mallien kehittämistä sekä tiedustelutiedon suodattamisen kehittymistä. [2, s. 14-18]

Nanoluokan lennokkien käyttöönottoa hidastaa vielä tekniikan hankaluus. Lentominaisuudet eroavat suuresti kookkaammista lennokeista, mutta pienempien lennokkien nostovoimaan ja lennon vakauttamiseen on pyritty löytämään vastausta seuraamalla erilaisia hyönteisiä ja niiden lentoa. Hyönteisiltä on mallinnettu myös parven lentoa varten lentoratoja ja –malleja, joita hyödyntämällä kyetään välttämään lennokkien yhteentörmäykset lennon aikana. Toinen nanolennokkien ongelma on niiden energialähde. Pieniin lennokkeihin on hankala löytää pidempää käyttöä kestäviä akkuratkaisuja sähkömoottoreille. Jatkuva lento kuluttaa akkujen energiaa jatkuvasti, vaikka lennokka pysyykin paikallaan. Tähän yhtenä ratkaisuna tällä hetkellä pidetään lennokkien varustamista kiipeilyn mahdollistavilla ”jaloilla”, joiden varassa lennokka voisi säästää akkuaan pysähtymällä rakennusten seiniin ja jatkamalla siitä tiedustelutiedon hankkimista sensoreillaan. [1; 2]

Erityisesti nanoluokan lennokeissa, mutta myös muissa, yhden isoimmista ongelmista muodostaa lennokin oma paino. Lennokin paino yhdistettynä moottorin tuottamaan nostovoimaan määrittelevät lennokin suurimman mahdollisimman hyötykuorman, joka kuitenkin määrittelee lennokin mahdolliset sensorit tiedustelutiedon tuottamiseen. Lennokin painosta suuri osa tulee sen käyttämästä energialähteestä. Nykyisin suurin osa lennokeista on

sähkömoottorilla työntövoimansa tuottavia, ja sen tarvitsema energia varastoidaan akkuihin. Lennokkien akkujen kannalta mietitään erityisesti kahta asiaa: suurimman mahdollisimman varastoitavan energian suhdetta akun painoon, sekä akun kestävyyttä useilla latauskerroilla. Vuonna 1990 ilmestyneiden NiCd akkujen (energiatiheys 36.59 Wh/kg) jälkeen on kehitetty useamman välivaiheen jälkeen lennokeille jo vuonna 2007 Li-Poly akkuja, joiden energiatiheys on lähes nelinkertaistunut NiCd akuista (energiatiheys 139.88 Wh/kg). [16, s. 2]

Toinen vaihtoehto energiaongelmien ratkaisuun on kehittää parempia energialähteitä tai –varastoja lennokkeihin. Lennokkien rajallisia maksimienergiämääriä, joita lennokit kykenevät yksittäisen lennon aikana hyödyntämään, on jo pyritty parantamaan erillisillä energialähteillä. Lennokkeihin on lisätty aurinkopaneeleita tai polttokennoja, joilla voitaisiin tukea akkujen rajallista virran varastointikykyä. [17, s. 4-6]

Sensorien tuottaman tiedustelutiedon käsittelyä voidaan myös tehdä itse lennokkijärjestelmällä. Konenäön kehittämistä voidaan pitää yhtenä lennokkien kehityksen osana. Lennokkien ja ohjainlaitteiden tiedustelutiedon käsittelykyvyn kehittyessä voi lennokka tai vastaanottoasema käsitellä saatuja havaintoja myös itsenäisesti ja pyrkiä havaitsemaan ennalta määriteltäviä kohteita tuotetusta tiedustelutiedosta. Konenäön keskeisiä osa-alueita ovat esimerkiksi kohteiden tunnistaminen, kohteen seuraaminen ja itsepaikannus. Järjestelmä voi ennalta luotujen etsittävien parametrien avulla helpottaa lennokin tuottaman tiedustelutiedon käsittelijän toimintaa korostamalla erityisen kiinnostavia kohtia sensorien tuottamassa kuvassa. Esimerkiksi kuvasta voidaan ympyröidä jo valmiiksi laitteiston havaitsemat mahdolliset elävät olennot jos prosessori kykenee ne itse havaitsemaan. [18, s. 27] Konenäköä on jo kokeiltu lennokeissa oman lennon tukemiseen. Omalla kameralla lennokka kykenee havaitsemaan nopeammin ja tarkemmin muutokset omassa sijainnissaan ja asennossaan, jolloin se kykenee korjaamaan lentoaan ilman käyttäjän toimenpiteitä. Samalla tavalla omia sensoreita hyödyntäen pienet lennokit voivat korjata omaa lentorataansa rajoitetulla alueella, kuten asutuskeskuksissa. Samoin omiin sensoreihin perustuva havainnointi mahdollistaa nanoparvien lennon samanaikaisesti rajoitetussa ilmatilassa ilman yhteentörmäyksiä. Esimerkiksi kameran tuottamalla kuvalla lennokka kykeni havaitsemaan, mikäli oma lentoreitti vei liian lähelle toista lennokkia, jonka jälkeen lennokka suoritti lennonkorjausliikkeitä aiemmin määriteltujen parametrien mukaisesti, mikä esti lennokkien yhteentörmäyksen. [2, s. 14-16]

Lennokkien kehittymistä nopeuttaa nyt myös siviilipuolella kasvaneet intressit miehittämättömien ilma-alusten käytössä erilaisissa tehtävissä. Poliisit ja monet muut toimijat

sekä valtiollisilla että kaupallisilla aloilla useissa valtioissa ovat osoittaneet kiinnostustaan tuoda erilaisia vaihtoehtoja helpottamaan omaa toimintaansa erityisesti valvonnassa. [2, s. 24]

Virallisten toimijoiden lisäksi lennokit ovat kasvattaneet suosiotaan myös erilaisten harrastajien parissa aivan tavallisilla kuluttajamarkkinoilla. Esimerkiksi ranskalaisen Parrot –yhtiön valmistama AR.Drone 2.0 on harrastuskäyttöön kehitetty minilennokki, joka on saatavilla ympäri maailmaa n. 300 euron hinnalla. Lennokkia on valmistajan mukaan myyty yli 177 000 kappaletta, ja sillä on yhteensä suoritettu lähes kolme miljoonaa lentosuoritusta. Lennokki toimii neljällä propellilla, ja se kykenee lentämään n. 11m/s maksiminopeudella. Integroitu kamera kykenee 720p HD –videokuvaan, ja sen yhden latauksen sallima lentoaika on n. 12 min. Parrotin lennokin erikoisuus verrattuna muihin kaupallisiin radio-ohjattaviin lennokkeihin on siinä oleva mahdollisuus käyttää GPS:ää ja ennalta suunniteltua reittiä lentoon ja kuvaamiseen. Mobiililaitteilla tai tablettitietokoneilla pystytään suunnittelemaan ennakkoon reitti lennokille, jolloin käyttäjä voi itse toimia vapaasti ja antaa lennokin välittää kuvaa jatkuvasti käyttäjän päätteeseen. [19] AR.Dronea on myös kokeiltu erikoisjoukkojen toimesta lennokitiedustelutiedon saamiseen rakennuksessa ja rakennusalueilla, joissa sillä pyrittiin havainnoimaan kulmien ja muiden esteiden taakse [20].



Kuva 4. Parrotin AR.Drone 2 mainoskuva. Kuvassa itse lennokki, sekä lennon hallintaan käytössä oleva tablettitietokone [19]

Taulukko 1. Esiteltyjen lennokkien ominaisuuksia [9, s. 35; 10; 13; 19; 21; 22]

| Malli | Raven | Maveric | T-Hawk | Ar.Drone 2 |
|--------------------------|--------|---------|---------|------------|
| Paino (kg) | 1.9 | 1.16 | 7.7 | 0.420 |
| Lentoaika (min) | 60-90 | 45-60 | 50 | 12 |
| Lentoetäisyys (km) | 8-12 | 10-15 | 5-10 | |
| Nopeus (km/h) | 96 | 101 | 74 | 40 |
| Maksimilentokorkeus (km) | 4.3 | 7.62 | 3.05 | 0.20 |
| Operaatiokorkeus (m) | 30-152 | 90-240 | 100-250 | |
| Valmistumisvuosi | 2004 | 2013 | 2003 | 2010 |

2.3. Johtopäätökset

Lennoikkien kehittymistä ohjaavat erilaiset havaitut tarpeet ja puutteet taistelukentällä. Sotien siirtyessä enemmän asutuskeskuksiin ja urbaaneihin ympäristöihin tilannekuvan tarve ja muoto on muuttumassa. Lennokkeja kehitetään paitsi edelleen automaattisesti reittiä seuraaviksi, myös paikalleen jopa pitkäksi aikaa jätettäväksi sensoriksi. Lennoikkien kehitys muuttuu tekniikan kehittyessä ja halventuessa aina enemmän tiettyyn ympäristöön ja tehtävään sopivaksi. Siinä, missä nykyistä Raven –lennokkia käytetään kaikissa operaatioissa toimintaympäristön sen salliessa, tullaan tulevaisuudessa kehittämään paljon enemmän käyttöön otettavia lennokkialustoja erilaisiin ympäristöihin. Jo nyt on käytössä esimerkiksi Britannialla kiinteäsiipisten lennoikkien lisäksi pyöriväsiipisiä lennokkeja erityisesti urbaaneissa ympäristöissä. Pyöriväsiipisten lennoikkien etuna on niiden kyky toimia sensorina ilmassa paikallaan, ja täysin vertikaalinen nousu ja lasku ilman erillisiä lähtöpaikkoja. Tämä mahdollistaa niiden käytön myös kapeissa kujissa ja rakennusten sisällä. Konenäön kehittyminen mahdollistaa lennoikkien helpomman käytön myös rakennusten sisällä. Jatkuvaa ohjaamista vaativat lennot sitovat aina miehen pois taistelu tehtävistä, jolloin pienryhmät vaativat joko ylimääräisen miehen tai joutuvat toimimaan vajaalla ryhmyksellä. Mikäli lennon ohjaaminen saadaan poistettua konenäöllä ja lennokin omalla lennon ohjaamisella myös ahtaissa paikoissa, lennokin käyttö helpottuu suuresti näissäkin olosuhteissa.

Uutena kehityssuuntana ovat nano –luokan lennot ja niiden parvitoiminta. Lentotekniikan kehittyessä lennokeissa saadaan aina vain pienempiä sensorialustoja markkinoille, ja niiden käyttöä pyritään lisäämään erityisesti urbaaneissa ympäristöissä. Nano –luokan lennoikkien kantokuorma on todella pieni, mutta parvena ne pystyvät kattamaan laajoja alueita sensoreillaan. Lennot kykenevät jakamaan omien sensoreidensa tuottaman kuvan toisilleen, ja jakamalla saadut havainnot toisilleen kyetään rakentamaan kattava tilannekuva koko parven toiminta-alueesta, kuten rakennuksesta.

Puhtaasti taistelukäyttöön suunniteltujen laitteiden lisäksi on mahdollista, että myös siviililaitteiden käyttö taistelukentällä yleistyy. Aiemmin esitelty Parrot:in valmista AR.Drone 2.0 on yksi esimerkki myöhemmin mahdollisesti erilaisten erillistoinimijoiden käyttämistä lennokkimalleista myös sodankaltaisissa tilanteissa. Lennokin valmistajan verkkosivuilla ilmoitetaan erikoisyksikön testanneen laitetta tiedustelutiedon saamiseen, mutta muuta tietoa testistä ei anneta. Uutisen arvo itsessään on heikko, sillä siinä ei mainita yksikköä tarkemmin, ei mitään tuloksia tai edes odotusarvoja testille. Kuitenkin tämänkaltainen testi osoittaa sen mahdollisuuden, että kaupallisia laitteita tuotaisiin toimintaan mukaan viranomaissektorille ja mahdollisesti taistelualueelle. Suhteellisen edullinen lennokka, yleisesti ja helposti saatavissa olevat hallintajärjestelmät lennokille sekä yksinkertainen käyttöliittymä tekevät tämänkaltaisista lennokeista helposti omaksuttavan tuen myös taisteluoperaatioissa. Mikäli samankaltaisten laitteiden akkukestoa kyetään kehittämään, voidaan tämänkaltaisia laitteita käyttämään samoilla käyttöperiaatteilla kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa käytössä oleva T-Hawk. Taulukosta 1 voidaan myös havaita siviilimallisen lennokin kykenevän maksimilentokorkeutensa rajoissa toimimaan myös muiden lennokkien operaatiokorkeudella, joskin sen maksimilentoaika sekä –nopeus ovat selkeästi heikompia.

Toinen siviilipuolelta mahdollisesti yleistyvä ominaisuus on lennokkien hallitsemisen helpottaminen. Nykyisten sotilaallisten lennokkimallien käyttöön tarvitaan aina erillinen ja mahdollisesti pitkä koulutus. Tästä johtuen lennokkien operoijat ovat aina organisaatiossaan erikoismiehiä. Siviilipuolen lennokkien käytön tulee olla tarpeeksi yksinkertaista peruskäyttäjille, jotta niiden käyttö onnistuu kaikilta. Esimerkiksi AR.Dronessa käytössä oleva tablettien käyttöön perustuva lennonhallintajärjestelmä voi olla tulevaisuudessa arkipäivää myös sotilaskäytössä.

3. LENNOKKIEN SENSORIJÄRJESTELMÄT

Lennokkien tiedustelukyvyn yksi merkittävimmistä tekijöistä on niiden sensorien havaintokyky. Lennokkien sensorit pyrkivät tuottamaan tarpeeksi tarkkaa dataa, jotta sen avulla joko laite tai laitteen käyttäjä voi havaita, luokitella ja lopulta tunnistaa havainnot. [5, s. 133-134] Lennokkien sensoreista tutkitaan 2020-luvun erilaisia näkymiä sensoreiden kehityksessä, niiden tarkkuuden kehittämisessä ja koon muutoksessa. Merkittävä tekijä mini – luokan ja sitä pienempien lennokkien sensoreissa on kuitenkin sensorien koko, ja sitä kautta käytettävyys pienissä lennokeissa.

Lennokeissa käytettävät sensorit riippuvat paitsi lennokin tehtävästä, myös lennokin kantokyvystä. Miniluokan lennokkien haasteena on varsin pieni hyötykuorman kantokyky, joka rajoittaa käytettävien sensoreiden kokoa suuresti. Yleensä lennokeissa käytetään nykyään erilaisia optoelektronisia sensoreita, tutkasensoreita ja sensoreita, joilla kyetään havaitsemaan ilmasta radioaktiivisia tai biologisia aineita. [5, s. 10]

Nanoluokan lennokeissa ja erityisesti parvilentoon suunnitelluissa lennokeissa lennokkien sensorit ovat itsessään hyvin yksinkertaisia ja vain tiettyyn tarkoitukseen suunniteltuja. Pienimmät lennokit eivät käytännössä kykene kantamaan kuin äärimmäisen kevyitä hyötykuormia, ja näin ollen lennokin sensorin tulee olla kevyt. Parvilentoon suunnitelluissa lennokeissa hyötykuormana käytetyt sensorit voivat olla erilaisia parven eri lennokeissa, ja esimerkiksi osa koneista voi kantaa optista kameraa toisten kantaessa mikrofonia tai muun tyyppistä sensoria. Tämä mahdollistaa yhteisellä tiedonkeruulla tarkan kuvan alueesta, sekä mahdollistaa tiedustelutehtävän onnistumisen, vaikka lennokka tai muutama tuhoutuisivat lennon aikana. [2, s. 10-14]

3.1. Nykyiset lennokkien sensorit

Miniluokan lennokeissa sensorit rajoittuvat tällä hetkellä yleensä vain optoelektronisiin sensoreihin. Näitä ovat erilliset näkyvän valon kamerat, eli värikamerat, sekä lämpökamerat. [1, s. 92-93]

Näkyvän valon ja matalan valon kameroissa käytetään yleensä CCD-kennoa. CCD kennot ovat yleisimmin käytettyjä kennomalleja nykyisissä digitaalikameroissa niiden herkkyyden ja

tarkkuuden takia, verrattuna toiseksi yleisimpään CMOS kennoon. CCD kennossa valon osuessa kennon pikseliin, pikselissä syntyy valosähköisen ilmiön myötä jännite. CCD kennoissa jokaisen pikselin jännite voidaan siirtää aina seuraavalle pikselille eteenpäin, ja lopulta kerätään kennon toisessa päässä jännitesarja, joka prosessoidaan harmaasävykuvaksi. Näitä harmaasävykuvia otetaan värikuvia varten vähintään kolmen erivärisen suotimen läpi, jonka jälkeen eri suotimien saadut arvot prosessoidaan yhdeksi värikuvaksi. [23]

Värikameroissa on tukena yleensä myös NIR-kamera, joka mahdollistaa myös lähi-infrapunasäteilyn hyödyntämisen kameran kuvan muodostumisessa, vähentäen ulkoisen valon tarvetta. Lähi-infrapunakamera havaitsee paljaalle silmälle näkymättömän 0.75-1.4 μ m aallonpituiseen säteilyyn, täten mahdollistaen näkemisen myös lähes täysin pimeissä paikoissa. Lennokkien kameroissa käytettävät CCD –kennot ovat luonteeltaan yleensä herkkiä myös näille aallonpituuksille, jolloin näiden aallonpituuksien hyödyntäminen on helppoa. Kameroihin tulee vain asettaa erilliset suotimet NIR-kuvaamista varten, jotka suodattavat näkyvän valon aallonpituudet, mutta laskevat halutun lähi-infrapunasäteilyn kennolle. Vaikka lähi-infrapunakuvat ovatkin luonteeltaan yksivärisiä, yhdistämällä ne samasta tilanteesta otettuun värikuvaan saadaan muodostettua yhteiskuva, jonka avulla voidaan havaita helpommin kohteita. [24]

Lämpökamerat toimivat sähkömagneettisen säteilyn infrapuna-alueella, ja ne keräävät vastaanottoimeensa kappaleen heijastamaa sekä säteilevää säteilyä. Sensorit toimivat aina tietyllä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusvälillä, joka valitaan sensorin käytön ja havainnoitavien kohteiden mukaisesti. Yleisimmät aallonpituusikkunat lämpöensoreille ovat 3-5 ja 8-12 μ m. Lämpöensorit voivat toimia joko jäähdytettyinä tai ilman jäähdytystä, mutta jäähdytys vaatii joko energiaa tai ylimääräisenä painolastia esimerkiksi kaasua itse sensorin lisäksi [14, s. 300-310]

3.1.1. Mantis i23 AE

Mantis –sarja on AeroVironmentin oma sensorijärjestelmäsarja, johon kuuluu 4 erilaista kamerasensoripakettia. Kaikista näistä sensoripaketeista löytyy samasta komponentista viiden megapikselin päiväkamera, ja yhtä versiota lukuunottamatta kaikista löytyy vakiona pimeä- tai hämäräkäyttöön lämpökamera, joka kykenee 640x480 resoluutioiseen lämpökuvaan. [25] Mantis sarja on käytössä AeroVironmentin RQ-11 Raven –lennokeissa. Nykyinen i23 AE korvaa aiemmat kaksi erillistä kamerasensoria Raveneista, ja samalla parantaa erityisesti

lämpökameran käyttöominaisuuksia mahdollistamalla kameran käännön ja tarkennuksen myös lennon aikana. Sensori kykenee suurentamaan näkyvän valon kuvaa neljällä eri asetuksella, ja lämpökamerakuvaa voidaan suurentaa kolmella eri asetuksella. Lisäksi i23 AE mahdollistaa lennokin käytön osoittamaan maalia omalla laserosoittimella. [26]

3.1.2 MicroPOP

Pop –sarja on israelilaisen Israel Aerospace Industries –yhtiön valmistama sensorisarja. Sarjan MicroPOP –malli on suunniteltu minilennokeille sensorijärjestelmäksi. Sen paino on alle 1,2kg, joten sitä kykenee suuri osa pienistäkin lennokeista kantamaan hyötykuormanaan. Paketti sisältää erillisen päiväkameran sekä lämpökameran jatkuvalla tarkennuksella ja kuvan vakauttimella. Kamerateat kyetään vaihtamaan nopeasti maassa ennen lennokin lentoa lähettämistä. [27] MicroPOP kykenee tuottamaan lämpökameralla 640 x 480 pikselin resoluutioista kuvaa, joka voidaan jakaa kahteen erilliseen elementtiin 320 x 240 pikselin näköikkunaan. Lämpökuvaus toimii ilman erillistä jäähdytystä 8-12µm spektri-ikkunalla. Kameroiden tukena MicroPOP kykenee toimimaan laserosoittimena, ja sen kuvaa voidaan käyttää automaattiseen videoseurantaan sekä liikkeentunnistamiseen. [28]

3.2. Lennokkien sensoreiden kehitysnäkymät

Lennokkien sensorien kehityksessä tulee huomioida kaksi eri suuntaa: sensorien tarkkuuden kehittyminen sekä sensoripakettien ja –komponenttien koon pieneneminen. Näiden lisäksi sensoriteknikan kehityksessä olennaista on kuitenkin sensoreiden verkottuminen ja tämän verkoittumisen mahdollistama merkittävä havainnointikyvyn paraneminen. Usean erillisen sensorin tuottamalla samanaikaisella datalla saadaan tarkempia havaintoja ja niiden yhteisten havaintojen perusteella kyetään tarkemmin tunnistamaan havainnot.[29, s. 31-32] Teknologian kehittyminen ja elektronisten komponenttien pieneneminen voivat mahdollistaa laajemman skaalan erilaisten sensoreiden käytössä myös pienimmissä lennokeissa. Suuremmissa lennokeissa on jo käytössä erilaiset tutkat ja komponentit, jotka kykenevät havaitsemaan CBRN –aseita ja aineita, sähkömagneettista säteilyä esimerkiksi radioliikenteen osalta ja paineaaltoja.[1, s. 83-90]

Kameroiden kehityksessä tarkkuus kasvaa jatkuvasti. Tarkemmilla sensoreilla mahdollistetaan kohteiden havainnointi jo kauempaa, jolloin lennokin lentoa on mahdollista ohjata alustavien havaintojen suuntaan nopeammin. Kohteiden havaitsemisetäisyyttä voidaan kasvattaa Johnsonin kriteerin mukaisesti lisäämällä detektorielementtien tiheyttä ilmaisinmatriisissa, eli pikseleiden määrää kennolla, tai kasvattamalla optiikan polttoväliä, eli optisella tarkennuksella.[14, s. 296-298] Esimerkiksi Israelilaisen CONTROP:n valmistamat minilennokkien D-STAMP sensoripaketit kykenevät kymmenenkertaiseen optiseen tarkennukseen. [30]

Mikro- ja nanoluokan lennokeissa ei paneuduta vielä laajaan skaalaan erilaisia sensoreita, vaan niissä keskitytään lähinnä kuvien muodostamaan tiedustelutietoon. Taistelevien joukkojen lennokit halutaan pitää yksinkertaisina käyttää ja hyödyntää, eräänlaisina ”lentävinä kiikareina” operoiville joukoille. Kuitenkin myös niiden kuormat ja sensorit voivat kehittyä tekniikan pienentyessä. Erityisesti mahdollisuuksia on signaali- ja viestintätiedustelun alueella. Britannian merijalkaväellä kokeiluvaiheessa olevalla SQ-4 nelipropellisessa mikrolennokissa on mahdollisuus käyttää suurivahvisteista mikrofonia audiodatan hankkimiseen. [31] Erityisesti nanoluokan sensoreissa haasteeksi sensoreille muodostuvat niiden paino sekä herkkyys. Pienessä mittakaavassa värinä ja heiluminen korostuvat, ja nanoluokan lennokeissa pelkästään moottorin aiheuttama värinä saattaa muodostaa kuvasta lukukelvottoman. [32, s. 1-2] Toisaalta jo aiemmin esityksessä ollut nanolennokkien kehityssuunta, jossa lennokit lentävät alueelle ja jäävät paikalleen, mahdollistaa myös lennokkien pidempiaikaisen hyötykäytön laajan alueen kattavana sensorijärjestelmänä. Täysin stabiilissa tilassa ollessaan lennokka kykenee käyttämään erilaisia sensoreita pidempiä aikoja. Tämän ansiosta lennokkia voidaan käyttää äärimmäisen tehokkaasti esimerkiksi hälytinjaerjestelmänä selustassa tai operaation kannalta kriittisellä alueella, jota ei voida henkilöiden toimesta valvoa. [1, s. 58-65]

Pienimmissä nanoluokan lennokeissa suurin osa lennokin painosta koostuu akun painosta. Akun ja moottorin tuoman painon jälkeen itse sensorin koolle tulee rankkoja rajoitteita. Jotta lennokka ylipäättään on kykenevä toimimaan, tulee sensorien olla äärimmäisen kevyitä. DARPA asetti vuonna 2005 haasteen kehittää nanolennokka, jonka maksimipaino tulee olla 10g sisältäen 2g hyötypainon. Tämä asettaa kameran ja sen vakautusjärjestelmän maksimipainoksi vain yhden gramman. [32, s. 2-5]

Sensorien pieneneminen on mahdollistanut myös niiden laajemman käytön siviililaitteistoissa, ja sitä myötä myös hinnan alenemisen. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää esimerkiksi FLIR ONE –järjestelmää, joka on erillinen lämpökameralisälaite yleisille iPhone 5 ja 5S

matkapuhelimille. Koko järjestelmä akkuineen painaa vain n. 110g, ja se sisältää lämpökameran, akun ja kotelon puhelimelle. [33] Sinänsä laitetta ei voida sellaisenaan pitää kovinkaan pitävänä esimerkkinä lennokkien lämpökamerajärjestelmistä, mutta se on hyvä indikaattori teknologian kehityksestä ja hinnan alenemisesta. Tällä hetkellä suurin osa käytetyistä lämpökameroista voivat maksaa jopa tuhansia euroja, mutta kyseinen FLIR:n laite vain alle \$350. [34]

3.3. Johtopäätökset

Lennokkien sensorien kehityksessä tärkeimpänä osana jatkuu sensorien tarkkuuden ja resoluution kehittyminen. Tarkkuutta kehitetään tuottamalla lennokkeihin tehokkaampiin suurennuksiin kykenevää optiikkaa ja resoluutiota kasvattamalla ilmaisinkennojen pikselimääriä. Näillä kehityksillä mahdollistetaan lennokeilla aiempaa suurempi kohteen havaitsemisetäisyys. Mooren lain mukaisesti prosessorien transistorien määrä kasvaa jatkuvasti, joka mahdollistaa myös sensorien erottelukyvyn kehittymisen ja mahdollisuuden suodattaa tarkemmin haluttua tietoa kerätystä raakatiedosta.

Sinänsä 2020-luvulle ei ole tulossa mitään uusia mullistavia itsenäisiä sensoreita, vaan kehitys näyttäisi vievän vain tarkempiin laitteisiin. Kaikkien pienimpiin lennokkeihin, jotka tarvittaessa laskeutuvat paikalleen havainnoinnin ajaksi, kehitys ei tuo vielä kameroiden lisäksi luultavasti kuin mikrofoneja, mutta miniluokan lennokkeihin saattaa löytyä hyötykuormana myös nyt isommissa lennokeissa olevia sensoreita, kuten sähkömagneettista spektriä havaitsevia sensoreita. Näiden lennokkien määrä tulee kuitenkin olemaan vielä verrattain vähäinen niiden sensorien tarpeen ollessa vähäisempi kuin yleisempien kamerasensoreiden.

Resoluution kehittyminen ja kehittyneemmät prosessointimahdollisuudet jo lennokeissa mahdollistavat myös koneen lennollista kehitystä. Erottelukyvyn kehittyminen mahdollistaa lennokin lentoparametreihin käytettäväksi erilaisia valmiita malleja, joita noudattamalla lennokin lentoa voidaan helpottaa. Lennokkien kyetessä itsenäisesti omilla sensoreillaan havaitsemaan ympäristöään myös lennon hallitseminen helpottuu suuremman automatisoinnin myötä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1. 2020-luvun lennokit

Lennokit 2020-luvulla tulevat olemaan todennäköisesti vielä hyvinkin nykyisten kaltaisia sillä lisäyksellä, että lennokkien määrä yleisesti tulee kasvamaan. Lisäksi pyöriväsiipiset sekä erityisesti pienimmät lennokkiluokat tulevat kasvattamaan osuuttaan yleisestä lennokkien määrästä. Lennokkien käyttö tiedustelutiedon hankkimiseen tulee kasvamaan, ja sitä myötä itse lennokkien määrä nousee. Lennokkien etuina korostuvat sen riskittömyys miehistön suhteen, helppokäyttöisyys ja jatkuvasti aleneva hinta. Nämä tekijät yhdessä muodostavat niistä tehokkaan työkalun erilaisiin tehtäviin aina maastontiedustelusta kohteen etsintään.

Pienten lennokkien näkyvyys taistelukentällä tulee korostumaan. Erityisesti pyöriväsiipiset mutta myös muuten pystysuoraan nousuun ja laskuun kykenevät lennokit tulevat kasvattamaan suosiotaan jatkuvasti toiminnallisilla yksiköillä. Mahdollisuus lähettää lennokki lentotehtävään myös taistelijan ollessa makuuasennossa matalan suojan takana tekee lennokista tehokkaan työkalun lähialueen havainnointiin myös taistelujen aikana. Erityisesti asutuskeskustaisteluita varten tulee kehittymään lennokkeihin erillinen ominaisuus paikallaan lentoon tai pienen alueen tiedustelulentoon, jolla voidaan havainnoida hyvinkin pientä ja kapeaa sektoria ja tuottaa tarkkaa kuvaa lähialueesta. Sensorien ja lennokkien kehittyessä myös laajemmille markkinoille kehitys nopeutuu ja tuotanto muuttuu edullisemmaksi.

Miniluokan lennokeista Raven tulee säilyttämään roolinsa yhtenä suosituimmista pienistä lennokeista, mutta sen seuraajaksi tuleva ehkä hiukan pienempi malli tulee jo nostamaan suosiotaan ympäri maailmaa komppaniatason tiedustelulennokkina. Kuitenkin nykyiset Ravenit ovat vielä kilpailukykyisiä uudempien mallien kanssa, erityisesti kun niiden hyötykuormia voidaan päivittää. Nykyisen Maveric –lennokin tapaiset kevyemmät ja helpommin tehtävään lähetettävät lennokit tulevat yleistymään ja niihin tulee pohjautumaan tuleva komppaniatason lennokkitiedustelu. Kiinteäsiipiset lennokit kykenevät edelleen laajempiin lentotehtäviin kuin pyöriväsiipiset. Akkujen energiamäärän kasvaessa ja sensorien painon pienentyessä voivat minilennokit hyvinkin kyetä useiden kilometrien tiedustelutehtäviin ja tuottaa samalta lennolta normaali- ja lämpökuvaa alueelta. Lisäksi lennokki voi kyetä samalla lennolla vielä tarkkailla ilmatilaa NBR-aseiden osalta tai havainnoida sähkömagneettista spektriä, joka mahdollistaisi radioliikenteen havaitsemisen.

Mikroluokan lennokit tulevat yleistymään mahdollisesti joukkuetason tiedustelutiedon keräämiseen. Lennokin ja sen tarvitseman kaluston kevyt paino tekee siitä helposti kannettavan järjestelmän operatiivisille joukoille. Mikrolennokit mahdollistavat erityisesti värikamera- sekä lämpökuvan yläilmoista oman toiminnan tiedustelutarpeisiin. Mikrolennokkien yleistymistä jarruttaa lähinnä tarpeen ja vaihtoehtojen suhde. Mikroluokan lennokkien etu verrattuna miniluokan lennokkeihin on lähinnä sen helpommassa kannettavuudessa. Mikrolennokkien keveys sinänsä mahdollistaa sen jakamisen myös alemmille toimiportaille aina ryhmätasolle asti, mutta samalla tulee ottaa huomioon myös muut rajoitukset, mitä lennokin käyttö toisi. Lennokki sitoo kuitenkin aina vähintään yhden taistelijan pelkästään lennokin hallintaan ja saadun tiedustelutiedon suodattamiseen, jolloin sen käytön mielekkyys korostuu lähinnä komppaniatasolla sekä erikoisryhmillä. Komppaniatasolla kyetään tuottamaan tarpeeksi lennokkitietoa sen joukkueiden tarpeisiin, mutta avoimeksi jäävät käytettävät lennokkimallit ja näiden kokoluokat. Tähän haasteensa antaa myös kokoluokitusten häilyvät rajat, mutta mini- ja mikroluokan lennokit tulevat olemaan ne yleisimmät pienet lennokit myös tulevaisuudessa, ja erityisesti komppaniatason kokoonpanoissa.

Mikrolennokkien hyötykuormat tulevat vaihtelevaan paljon niiden käytön mukaan. Mikrolennokeissa yleistyy miniluokkaa enemmän myös pyöriväsiipiset ja muuten pystysuoraan nousevat lennokit juuri sen takia, että niitä tullaan kantamaan joukon mukana tulitaisteluihin. Samoin mikroluokan lennokit tulevat kykenemään myös lentoihin ahtaammissa paikoissa autonomisesti konenäön kehittymisen myötä. Aivan joukon lähellä toimivia lennokkeja varustellaan yksinkertaisemmilla sensoreilla, kuten pelkällä näkyvän valon kameralla, jotta niiden käyttö pysyy yksinkertaisena. Toisaalta rakennusten tiedusteluun voidaan haluta lennokkeihin sensorit äänen nauhoittamiseen tai sähkömagneettisen spektrin havainnoimiseen.

Nanolennokit tulevat nekin yleistymään jossain määrin teknologian kehittyessä, mutta silti niiden rooli tulee olemaan lähinnä erikoistilanteissa tiedustelussa. Yksittäisiä nanolennokkeja tulevat käyttämään lähinnä erikoisryhmät, jotka haluavat tietoa hyvin läheiseltä alueelta tai mahdollisesti turvata omaa selustaansa taakse jätettävillä ”silmillä”, jotka eivät sido omaa miehistöä. Toisaalta nanolennokkeja tullaan hyödyntämään parvilentoihin kykenevissä lennokkiryhmässä. Näissä käyttö tulee olemaan hyvin tarkalle alueelle määritellyissä tehtävissä, jolloin jälleen käyttö rajoittuu erikoistilanteisiin tai –ryhmiin. Parvet kykenevät tuottamaan ääni-, kuva ja lämpökuvaa tarkasti alueelta, mutta nanolennokkiparvien käyttö tulee olemaan erikoisosaamista vaativaa. Vaikka parven hallinta ja toimitus toiminta-alueelle

tulisivat yksinkertaistumaan teknologian kehittyessä, on siinä kuitenkin hyvin laaja kokonaisuus parven käyttäjän hallittavaksi jo puhtaasti tuotetun tiedon suodattamisessa. Vaikka konenäön kehittymisen myötä lennokkien tuottaman tiedustelutiedon hyödyntämisestä tuleekin jatkuvasti helpompaa, ei lennokkijärjestelmä kykene vielä 2020-luvulla suodattamaan käyttäjälle raakatiedosta vain sitä, mikä käyttäjää kiinnostaa.

4.2. Tarpeet jatkotutkimukselle

Lennokkien kannalta jatkotutkimusta olisi hyvä toteuttaa nyt Puolustusvoimien tulevan Orbiter Mk II käyttöön liittyen. Tätä olisi hyvä verrata käyttönsä perusteella erityisesti maailmalla yleiseen Raven –lennokkiin ja sen ominaisuuksiin, sekä mahdollisesti joihinkin kokeiluasteella oleviin lennokkeihin. Näin saataisiin tuotettua vertailun perusteella tietoa lennokin käytännön toimintamahdollisuuksista kriisitilanteissa.

Aiemmin on jo tutkittu lennokin rakentamista kaupallisista osista, mutta puhtaasti kaupallisen lennokin hyödyntämisestä puolustusvoimissa ei ole löytynyt tietoa. Tätä asiaa olisi hyvä tutkia myös laajemmalla tasolla. Kaupallisten lennokkien skaala on jo nyt varsin laaja, ja osa niistä voisi olla suoraan hyödynnettävissä myös Puolustusvoimien tehtävissä. Varsinkin kriisitilanteessa, jolloin tarvittaessa pakkolunastetaan kalustoa, voisi osa kaupallisista lennokeista toimia varsin tehokkaina korvikkeina tai lisänä nykyiselle kalustolle.

LÄHTEET

- [1] United States Department of Defence. *U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035: Eyes of the Army*. Fort Rucker, Alabama Yhdysvallat: 2010. 126 s.
- [2] Miller, P. *Mini, Micro, and Swarming Unmanned Aerial Vehicles: A Baseline Study*. 2006. 55 s. [Viitattu 18.4.2014] Saatavissa:
<http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA521374>
- [3] Prior, S., Shen, S-T., Karamanoglu, M., Odedra, S., Erbil, M., Barlow, C. & Lewis, D. *The future of battlefield micro air vehicle systems*. 2010. [Viitattu 9.5.2014] Saatavissa:
<https://eprints.mdx.ac.uk/3861/>
- [4] Lappalainen, E., Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7
- [5] Fahlstrom, P. & Gleason, T. *Introduction to UAV systems*. 4th ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. 280 s. ISBN: 978-1-119-97866-4
- [6] Global Security. *Unmanned Aerial Vechicles (UAVs)*. [Viitattu 23.4.2014] Saatavissa:
<http://www.globalsecurity.org/intell/systems/uav-intro.htm>
- [7] Kananen, J. *MIEHITTÄMÄTTÖMÄT ILMA-ALUKSET, NIIDEN KEHITYS SEKÄ KÄYTTÖ VIIMEAIKAISISSA SODISSA*. Pro Gradu –tutkielma. Helsinki, 2007. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 61s.
- [8] *RPAS Yearbook – RPAS: The Global Perspective*. 12th ed. France, Blyenburgh & Co, 2014. 240 s. ISSN: 2270-6062
- [9] Bourgondien, J. *Analysis of the Sustainment Organization and Process for the Marine Corps' RQ-11B Raven Small Unmanned Aircraft System (SUAS)*. MBA Professional report. Monterey, 2012. Naval Postgraduate School. 91s.

- [10] *U.S. Air Force Fact Sheet RQ-11B RAVEN SYSTEM*. AeroVironment Inc. 2009. [Viitattu 23.4.2014] Saatavissa: https://www.avinc.com/downloads/USAF_Raven_FactSheet.pdf
- [11] U.S. Army. *Army purchases bird-like, micro-unmanned aerial system*. 2013 [Viitattu 24.4.2014] Saatavissa: http://www.army.mil/article/115672/Army_purchases_bird_like__micro_unmanned_aerial_system/
- [12] Ariforce-Technology. *Maveric Mini Unmanned Aerial System (MUAS), United States of America*. [Viitattu 15.5.2014] Saatavissa: <http://www.airforce-technology.com/projects/maveric-small-unmanned-aerial-system/>
- [13] Army-Technology. *Honeywell T-Hawk Micro Air Vehicle (MAV), United States of America*. [Viitattu 10.5.2014] Saatavissa: <http://www.army-technology.com/projects/honeywell-thawk-mav-us-army/>
- [14] Kosola, J. & Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä – informaatioajan sotakoneen tekniikka*. 3. painos. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2013. 491 s. ISBN 978-951-25-2503-4
- [15] IHS Jane's. *US Army mulling new micro, long-endurance UAVs*. [Viitattu 21.7.2014] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1576416&Pubabbrev=JDW>
- [16] Logan, M., Chu, J., Motter, M., Carter, D., Ol, M. & Zeune, C. *Small UAV Research and Evolution in Long Endurance Electric Powered Vehicles*. USA, 2007. American Institute of Aeronautics. 7s.
- [17] Stout, P., Yang, S. & Zhang, Y. *Increased Endurance for Mini and Micro UAVs*. [Viitattu 2.5.2014] Saatavissa: http://patrick-stout.com/uploads/Increased_Endurance_Stout_Yang_Zhang.pdf
- [18] Raatikainen, K. *Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen: Tarinoita tietojenkäsittelytieteen osa-alueilta*. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. Helsinki 2007. 120s.

[19] *PARROT AR.Drone 2.0*. Parrot [Viitattu 15.6.2014] Saatavissa:
<http://ardrone2.parrot.com/>*

[20] Parrot. *Special Operations Unit tests AR.Drone 2.0*. [Viitattu 17.6.2014] Saatavissa:
<http://blog.parrot.com/2013/03/07/special-operations-unit/>

[21] *T-Hawk MAV*. Honeywell. [Viitattu 10.1.2015] Saatavissa:
http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures/T-Hawk_MAV.pdf

[22] *Maveric UAS*. Prioria. [Viitattu 10.1.2015] Saatavissa:
http://www.prioria.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/06/Prioria-Sheet_Maveric_WEB.pdf

[23] Howell, S. *Basics of Charge Coupled Devices*. National Optical Astronomy Observatory, Yhdysvallat. [Viitattu 12.1.2015] Saatavissa:
https://www.noao.edu/meetings/gdw/files/Howell_CCDs.pdf

[24] Stephens, S. & Rasmussen, V. *On Target: Near Infrared Tutorial*. Utah State University, Yhdysvallat. [Viitattu 12.1.2015] Saatavissa: <https://extension.usu.edu/nasa/html/on-target/near-infrared-tutorial>

[25] *Gimbaled Sensors*. AeroVironment Inc. [Viitattu 16.5.2015] Saatavissa:
https://www.avinc.com/downloads/Gimbal_Datasheet_150dpi_01.pdf

[26] *BENEFITS OF UPGRADING TO RAVEN'S MANTIS i23 GIMBALED PAYLOAD*. AeroVironment Inc. [Viitattu 16.5.2014] Saatavissa:
https://www.avinc.com/downloads/Raven_Gimbal_Update_for_Online.pdf

[27] *MICROPOP MICRO PLUG-IN OPTRONIC STABILIZED PAYLOAD*. Israel Aerospace Industries. [Viitattu 17.5.2014] Saatavissa:
http://www.iai.co.il/Sip_Storage//FILES/2/39062.pdf

[28] *microPOP Micro Plug-In Optronical Stabilized Payload*. Stark Aerospace. [Viitattu 15.6.2014] Saatavissa: <http://starkaerospace.com/images/pdfs/MicroPOP-Web-Brochure.pdf>

[29] Kosola, J. *Teknologisen kehityksen vaikutuksia sodankäyntiin 2015 – 2025*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2011. 61 s. ISBN 978-951-25-2166-1

[30] *D-Stamp Payload*. CONTROP. [Viitattu 17.2.2015] Saatavissa: <http://www.controp.com/item/D-stamp-payload>

[31] IHS Jane's. *Fledgling capabilities: micro and nano UAVs*. [Viitattu 21.7.2014] Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=News&ItemId=+++1711038&Pubabbrev=IDR>

[32] Kjenstas, S. *Stabilized Camera for Nano-UAV*. Master of Science in Engineering Cybernetics. Norway, 2010. Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering Cybernetics. 68s.

[33] *FLIR ONE™ Personal Thermal Imager by FLIR®*. FLIR. [viitattu 9.11.2014] Saatavissa: <http://flir.com/flirone/explore.cfm>

[34] *FLIR ONE – (Space Gray)*. FLIR. [Viitattu 12.1.2015] Saatavissa: <http://shop.flir.com/dp/B00K0PXF6>